



Gliwice, 2021.08.27

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Pustelny
Katedra Optoelektroniki
Politechnika Śląska
e-mail: Tadeusz.Pustelny@polsl.pl

Recenzja pracy doktorskiej

mgra inż. Marcina JAKUBASZKA pt.:

"Optymalizacja optoelektronicznego modułu detekcyjnego do systemu ostrzegania o promieniowaniu laserowym"

Praca doktorska została wykonana w Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego pod kierunkiem promotora, Pana prof. dra hab. inż. Zygmunta MIERCZYKA. Promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim był Pan dr inż. Marek ZYGMUNT

1. Informacje wstępne

Wyniki swoich analiz literaturowych, analiz i rozważań o charakterze teoretycznym i projektowym a także badań eksperymentalnych Pan mgr Marcin Jakubaszek zawarł na 170 stronach maszynopisu. Praca zawiera 84 rysunki, wykresy i zdjęcia oraz 14 tabel. W prac znajduje się także spis rysunków oraz 5 załączników. Bogata prezentacja graficzna analizowanych zagadnień oraz uzyskanych wyników jest silną stroną rozprawy i ułatwia analizy prezentowanych w niej treści. Praca zawiera wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, jakich Doktorant używał w rozprawie. Autor rozprawy powołuje się w swojej pracy na 98 pozycje literatury, z których korzystał przy jej realizacji. W tej grupie znajdują się oprócz publikacji oraz opracowań książkowych także patenty oraz dokumentacje aparatury i pozycje internetowe. Doktorant jest współautorstwem jednej z zawartych w Bibliografii publikacji.

2. Cel rozprawy

Praca doktorska Pana mgr inż. Marcina Jakubaszka pt. „*Optymalizacja optoelektronicznego modułu detekcyjnego do systemu ostrzegania o promieniowaniu laserowym*” dotyczy zagadnień związanych z konstrukcją modułu ostrzegania o promieniowaniu laserowym w aspekcie możliwości jego przyszłego zastosowania w urządzeniach o charakterze militarnym.

Należy uznać, że podjęty temat ma ważne znaczenia zarówno w działaniach wojskowych jak również dla bezpieczeństwa ludności cywilnej. Nie może więc dziwić, że miejscem realizacji badań prowadzonych w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej jest Wojskowa Akademia Techniczna.

Cechą charakterystyczną współczesnej broni jest precyzyjne rażenie przeciwnika. Precyzyjne rażenie, oprócz ewidentnych korzyści militarnych na współczesnym polu walki, pozwala również na wybiórcze i bardzo skuteczne niszczenie obiektów o istotnym znaczeniu przemysłowym i gospodarczym, w tym obiektów o charakterze cywilnym. Do kierowania i naprowadzania ognia są stosowane przede wszystkim źródła promieniowania elektromagnetycznego z zakresu widma radarowego i około optycznego. Bardzo powszechnie stosowane są źródła laserowe, głównie dlatego, że promieniowanie laserowe charakteryzuje bardzo mały kąt rozbieżności wiązki, pozwalający na bardzo precyzyjne określenie obiektu będącego celem ataku. W aplikacjach militarnych źródła laserowe znajdują zastosowanie nie tylko do lokalizacji celu ataku. Źródła laserowe stosowane są do określania odległości od celu, ale także jako układy oświetlające oraz jako układy olśniewające do maskowania własnych systemów rażenia lub obiektów o istotnym znaczeniu militarnym i cywilnym. Techniki laserowe są stosowane również do transmisji danych w otwartej przestrzeni.

Nie ma wątpliwości, że podjęta przez pana mgr inż. Marcina Jakubaszka tematyka detekcji promieniowania laserowego na współczesnym polu walki jest niestety cały czas niezwykle ważna i aktualna. Można się spodziewać, że rezultaty rozprawy mogą w nieodległej przyszłości znaleźć zastosowania również w tzw. działalności cywilnej.

Doktorant formułuje dwa cele swojej rozprawy doktorskiej:

1. Opracowanie i optymalizacja układu detekcyjnego o wysokiej czułości widmowej;
2. Uzyskanie wysokiej rozdzielczości określania kąta azymutu i kąta elewacji.

Dla osiągnięcia założonych celów Doktorant stawia w rozprawie dwie tezy:

1. Zastosowanie zoptymalizowanych elementów konstrukcyjnych komory pomiarowej umożliwia uzyskanie wysokich rozdzielczości i dokładności pomiaru kąta padania promieniowania przy minimalizacji wymiarów mechanicznych sensora (optycznego);
2. Zastosowanie zwierciadła oraz odpowiedniej struktury komory pomiarowej umożliwia zmniejszenie liczb elementów detekcyjnych bez zmniejszenia pola widzenia przy zachowaniu dynamiki detekowanych sygnałów optycznych.

Uważam, że sformułowane przez mgr inż. Marcina Jakubaszka cele rozprawy postawione są poprawnie i precyzyjnie. Tezy szczegółowe rozprawy, które powinny zostać potwierdzone w rezultacie jej realizacji zostały podane w sposób jasny i precyzyjny.

Realizacji rozprawy powinna stanowić wartościowy przyczynek w rozwoju układów do wysokoczułej detekcji źródeł promieniowania laserowego i precyzyjnej lokalizacji źródeł tego promieniowania.

3. Zawartość rozprawy doktorskiej

W rozprawie doktorskiej Pana mgra inż. Marcina Jakubaszka można wyróżnić dwie zasadnicze części, na które składa się 10 rozdziałów pracy.

Pierwszą część (strony: 11-50) stanowi 5 pierwszych rozdziałów rozprawy.

Tę część rozprawy stanowią rozdziały: *1 Wstęp*, *2 Cel pracy*, *3 Analiza źródeł promieniowania laserowego na współczesnym polu walki*, *4 Systemy ostrzegania o promieniowaniu laserowym*, *5 Metody pomiaru kąta padania promieniowania optycznego*.

W tej części rozprawy (we *Wstępie*) mgr Jakubaszek w sposób kompetentny omawia sposoby zastosowania promieniowania laserowego na współczesnym polu walki. *Rozdział 2* zawiera cele i tezy pracy. Następnie (w *Rozdziale 3*) Doktorant omówił niektóre urządzenia, w tym dalmierze, podświetlacze, układy naprowadzania, będące już obecnie na wyposażeniu armii krajów Układu Północnoatlantyckiego. Doktorant ma świadomość, że z uwagi na niejawność tego typu sprzętu nie może w rozprawie doktorskiej prezentować aktualnego poziomu metrologicznego i technicznego omawianych urządzeń. Dalej (*Rozdział 4*) dotyczy systemów ostrzegania o promieniowaniu laserowym. Zostały tu zaprezentowane podstawowe parametry takich systemów. Dokonano także przeglądu wybranych systemów ostrzegania opracowanych zarówno przez firmy polskie jak i firmy zagraniczne. W *Rozdziale 5* zostały przez Doktoranta omówione koncepcje techniczne

układów detekcyjnych, stosowanych do pomiarów kątów padania promieniowania laserowego. Ta część rozprawy ma co prawda charakter analiz i przeglądu układów detekcji promieniowania laserowego przeprowadzanego na podstawie analiz literatury problemu lecz jest opracowaniem starannym, autorskim i wartościowym.

Na drugą część (strony: 51-140) składają się rozdziały 6-10. Tę część rozprawy stanowią rozdziały: *6 Koncepcja modułu optoelektronicznego o wysokiej rozdzielczości kątowej i czułości widmowej*, *7 Budowa modułu optoelektronicznego*, *8 Badania laboratoryjne modelu modułu optoelektronicznego*, *9 Wnioski*, *10 Bibliografia i źródła*.

(W skład manuskryptu wchodzi jeszcze pięć *Załączników*, zawierających wiadomości, które słusznie Doktorant nie umieścił w zasadniczej części swojej rozprawy doktorskiej).

Rozdział 6 zawiera najistotniejszy materiał badawczy rozprawy, będący oryginalnym dorobkiem Doktoranta. Przedstawiono tu analizę matematyczną przyjętej konstrukcji modułu do detekcji wiązki laserowej. Przeprowadzono analizy wpływu różnych parametrów i elementów systemu detekcyjnego w aspekcie wyboru rozwiązań optymalnych. Dokonano analizy różnych wariantów zaproponowanych rozwiązań z uwzględnieniem ich właściwości dynamicznych. *Rozdział 7* zawiera opis konstrukcji modułu detekcyjnego - konstrukcji wybranej w wyniku wcześniejszych analiz, która została praktycznie zrealizowana. Konstrukcja niniejsza powstała w ramach realizacji projektu NCBR PSOB/16-064/WAT. Badania eksperymentalne, prowadzone w warunkach laboratoryjnych opracowanego modułu zostały przedstawione w *Rozdziale 8*.

Rozdział 9 stanowią wnioski, wynikające z przeprowadzonych analiz i prac konstrukcyjnych modelu detekcyjnego oraz wnioski wynikające z przeprowadzonych badań eksperymentalnych w warunkach laboratoryjnych oraz wstępnych prac przeprowadzonych w wolnej przestrzeni. Doktorant przedstawił również program dalszych badań i prac rozwojowych, które pragnie kontynuować w celu przyszłej komercjalizacji opracowanego modułu detekcyjnego do systemu ostrzegania o promieniowaniu laserowym.

Część badawczą rozprawy zamyka wykaz literatury naukowej oraz źródeł internetowych i kart katalogowych a także patentów międzynarodowych (zatytułowany *Bibliografia i źródła*), z której Doktorant korzystał w trakcie jej realizacji. Jak już wspomniano, w wykazie literatury jest 98 pozycji. Są tam zarówno pozycje starsze, jeszcze z ubiegłego wieku, jak również wiele pozycji z okresu ostatnich lat. Wykaz literatury świadczy o dobrej znajomości materiału naukowego, technicznego oraz konstrukcyjnego dotyczącego analizowanych w rozprawie zagadnień.

4. Ocena rozprawy doktorskiej

W tym miejscu chciałbym raz jeszcze silnie podkreślić, że rozprawa doktorska jest od samego początku ukierunkowana na potrzeby współczesnego wojska w aspekcie zastosowania opracowanego systemu do ostrzegania o promieniowaniu laserowym na współczesnym polu walki. Ukierunkowanie niniejszej rozprawy doktorskiej na praktyczne, militarne wykorzystanie jej wyników jest podstawową cechą rozprawy. Doktorant często odnosi się do warunków panujących na polu walki i właściwie wszystkie z prowadzonych analiz mają odniesienie „militarne”. Przeznaczenie wyników badań, którym jest opracowanie systemu do militarnego wykorzystania w detekcji promieniowania laserowego zdeterminował jej charakter oraz zakres przeprowadzonych badań. Jestem przekonany, że praca nad opracowaniem układów do detekcji promieniowania laserowego dla zastosowań „cywilnych” miałyby inny charakter.

W sensie praktycznej istotności recenzowaną rozprawę doktorską mgr inż. Marcina Jakubaszka uważam za wyjątkową.

Jako własny wkład Doktoranta w rozwój optoelektroniki, w zakresie analiz i prac projektowych może uznać:

- autorską analizę źródeł promieniowania laserowego stosowanych na współczesnym polu walki;
- analizę stosowanych systemów ostrzegania o promieniowaniu laserowym;
- analizę metod określania kąta padania wiązki laserowej na detektor optyczny;
- analizę matematyczną określania kątów padania wiązki laserowej w różnej konfiguracji geometrycznej układu: wiązka-detektor;
- opracowanie modeli modułów do detekcji promieniowania laserowego, z równoczesnym określeniem kąta ich padania na detektor;
- analiza poziomego promieniowania rozproszonego wewnątrz komory pomiarowej modułu detekcyjnego;
- optymalizacja opracowanego modułu pod względem jego czułości detekcyjnej oraz jego wymiarów geometrycznych;

Moduł detekcyjny do systemu ostrzegania o promieniowaniu laserowym dla zastosowań militarnych został przez Doktoranta praktycznie wykonany i poddany badaniom laboratoryjnym. Jako dorobek rozprawy doktorskiej w zakresie prac i badań praktycznych i eksperymentalnych można wyróżnić:

- wykonanie modułu detekcyjnego, z uwzględnieniem wyników wcześniejszych analiz teoretycznych i technicznych;
- opracowanie i wykonanie układów elektronicznych dla sterowania modułem oraz do wysokoczułej detekcji promieniowania laserowego;
- wykonanie systemu transmisji danych z detektora do systemu mikroprocesorowego;
- wykonanie sterownika dla lasera impulsowego o zmiennym czasie trwania impulsu oraz zmiennej wyjściowej mocy optycznej;
- przeprowadzenie badań w laboratoriach Instytutu Optoelektroniki WAT opracowanego modułu detekcyjnego;
- przeprowadzenie badań poligonowych opracowanego modułu;

Zaproponowany i wykonany moduł do detekcji promieniowania laserowego pozwala na wyznaczenie kąta padania wiązki laserowej w całym jego „polu widzenia” z dokładnością większą niż 2%. (Jak Doktorant pisze w rozprawie, większość pomiarów - ok. 80%, obarczona jest błędami poniżej 1 %.). Opracowany moduł detekcyjny charakteryzuje czułość 3 W/m², co w opinii Doktoranta jest porównywalne z czułością najlepszych detektorów komercyjnych.

Należy podkreślić, że dla osiągnięcia postawionych celów Doktorant zaproponował w kilku przypadkach oryginalne, własne rozwiązania w konstrukcji modułu detekcyjnego. Oryginalnym są: zastosowanie w module detekcyjnym zwierciadła oraz taka geometryczna modyfikacja komory, które umożliwiają istotne zmniejszenie liczby elementów detekcyjnych bez zmniejszania pola widzenia przy zachowaniu wysokiej jej czułości oraz wysokiej dynamiki defekowanych sygnałów optycznych.

Czytając rozprawę ma się pozytywne wrażenie, że Doktorant posiada wartościowe kompetencje i wiedzę elektroniczną i to zarówno w zakresie tzw. elektroniki analogowej jak również w zakresie elektroniki cyfrowej.

Można bez wątpienia uznać, że postawione w Rozdziale 2 *Cele pracy* zostały w wyniku jej realizacji przez Doktoranta osiągnięte. Również, postawione *Tezy pracy* zostały analitycznie i praktycznie wykazane.

Jako Recenzent pracy doktorskiej Pana mgra Marcina Jakubaszka uważam, że niniejsza rozprawa prezentuje wartościowy poziom naukowy w *Dyscyplinie „Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika”*. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że rozprawa,

obok wartości naukowej i technicznej, posiada także bardzo istotną wartość praktyczną. Może być ważna także w aspekcie obronności Naszego Kraju.

5. Uwagi krytyczne

Z obowiązku Recenzenta pragnę zgłosić swoje uwagi i zastrzeżenia.

Praca doktorska mgr inż. Marcina Jakubaszka napisana jest w sposób przemyślany. Układ pracy jest starannie dobrany. Usterki edycyjne a także tzw. literówki w pracy zdarzają się relatywnie rzadko. Autor na początku pracy w pozycji „*Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń*” podaje skróty na większość wielkości a także stosowanych pojęć, których używa w pracy. Ułatwia to lekturę pracy i analizę zawartych w niej treści.

Doktorant przy redakcji pracy nie ustrzegł się stosowania skrótów myślowych i określeń żargonowych, typu: „*moc na powierzchni detekcyjnej*”, „*kąt konstrukcyjny*”, „*długość mechaniczna*”, „*dla azymutu poziom detekcji będzie większy*”,...

Mało precyzyjnych określeń w pracy jest zresztą więcej.

W części drugiej rozprawy, gdzie Doktorant prowadzi analizy geometryczne propagacji promieniowania laserowego w module detekcyjnym, znajduje się wiele wzorów. Często są to wyrażenia o charakterze trygonometrycznym. Najczęściej Doktorant podaje tylko końcowy wzór jako wynik swoich analiz i to najczęściej bez informacji, czy jest to wyrażenie zaczerpnięte z literatury problemu, czy wynik własnych oryginalnych rozważań. W wielu przypadkach nie miałem zdania, skąd dane wyrażenie pochodzi i jak zostało uzyskane. Dotyczy to np. wzorów: 6.1, 6.2, ... 6.39, 6.74, 6.75, i wielu innych.

Podobna uwaga dotyczy tabel zamieszczonych w rozprawie. W tym przypadku również mam pytanie o pochodzenie samych tabel oraz skąd zostały zaczerpnięte zawarte w nich dane. (Proszę w trakcie publicznej obrony na ustosunkowanie się do powyższych uwag.) Czasami czytając pracę nie wiedziałem, czy Doktorant prezentuje własne opinie, czy przytacza informacje zaczerpnięte z literatury naukowej.

Jak Doktorant rozumie pojęcie „błędu”, którym się szeroko posługuje omawiając dokładność określenia kierunku i odległości w rozprawie. Jak rozumie pojęcie „czułości detekcji”? (Na temat „czułości detekcji” Doktorant pisze w manuskrypcie rozprawy na stronie 102, ale proszę aby temat „czułości detekcji” oraz „błędów” omówić w trakcie publicznej obrony.)

Zaskoczeniem jest dla mnie fakt, że Doktorant w swojej pracy doktorskiej w ogóle nie odnosi się do problemu dyfrakcji wiązki laserowej na krawędziach szczelin modułu pomiarowego. Jestem świadomy faktu, że szczeliny mają szerokość (i grubość) znacznie większą od długości fali promieniowania laserowego, ale teoretycznie na szczelinie powinno wystąpić tzw. „*optyczne ugięcie Huygensa*”. Można podejrzewać, że praktyczny wpływ tego efektu na wyniki pomiarów kąta padania wiązki może być zaniedbywalnie mały, ale Doktorant problemu w ogóle nie zauważa.

W rozprawie brak jest informacji o profilu natężenia pola elektromagnetycznego (e-m) w przekroju poprzecznym wiązki laserowej. Rozkład natężenia energii e-m w wiązce laserowej nie jest skokowy. Najczęściej przybliża się natężenie rozkładem tzw. gaussowskim. Osobną sprawą jest fakt, że rozkład ten rzadko jest cylindryczny. Uważam, że Doktorant te problemy powinien w rozprawie zauważyć i się do nich odnieść w kontekście analizowanych zagadnień.

Doktorant w rozprawie nikomu nie dziękuje za współpracę i pomoc przy realizacji rozprawy. Proszę aby w trakcie publicznej obrony przedstawił szczegółowo z kim współpracował i w jakim zakresie. Problem współpracy zawsze był dla mnie problemem istotnym. I to dlatego, że wartościowe prace naukowe z zakresu badań eksperymentalnych muszą wiązać się ze współpracą. Z reguły wykonywane są w zespołach badawczych. I nie ma w mojej opinii, w tym nic złego. Współpraca naukowa zawsze jest wartością – jest również wartością w przypadku realizacji rozprawy doktorskiej. Naganne może być w działalności naukowej unikanie informacji o współpracy, która ma charakter naukowy.

Nie zauważyłem aby efekty realizacji rozprawy były patentowane. Pewnie brak patentowania opracowanych w ramach rozprawy rozwiązań wynika również z faktu, że są to badania na rzecz obronności.

Pan mgr inż. Marcin Jakubaszek jest, wg. bibliometrycznej bazy SCOPUS, współautorem 11 prac naukowych. (5 prac zostało opublikowanych w czasopiśmie o międzynarodowej cyrkulacji zaś 6 są to publikacje pokonferencyjne, wydane w Poceedings). Prace z współautorstwem Doktoranta były cytowane 55 razy, a tzw. indeks Hirsha ih tych prac wynosi: $ih = 3$. Jeśli uwzględnimy, że Pan Marcin Jakubaszek stara się o stopień doktora nauk technicznych (a w pracach brał udział jako magister) to można uznać, że jest to dorobek zasługujący na szacunek.

Powyższe uwagi nie mają wpływu, na moją jednoznacznie pozytywną opinię o recenzowanej rozprawie doktorskiej Pana mgra inż. Marcina Jakubaszka.

Konkluzja końcowa

Jako recenzent, pragnę wyraźnie podkreślić, że pozytywnie oceniam poziom naukowy rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Marcina Jakubaszka.

Praca zawiera oryginalne wyniki analiz i badań naukowych i technicznych, o ważnym utylitarnym znaczeniu. Tezy, które Doktorant chciał udowodnić, w efekcie realizacji rozprawy, została wykazane. Cele rozprawy zostały osiągnięte.

Biorąc pod uwagę jednoznacznie pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej mgra inż. Marcina Jakubaszka pt.:

"Optymalizacja optoelektronicznego modułu detekcyjnego do systemu ostrzegania o promieniowaniu laserowym "

stwierdzam, że

w świetle obowiązującej *Ustawy - Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z 20.07.2018r* (a także w świetle aktów wcześniejszych, w tym: „*Ustawą o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki*", z dnia 14 marca 2003 roku wraz z *Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011 roku. oraz Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018)*

recenzowana rozprawa spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim w Dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika.

Pozytywna ocena pracy doktorskiej stanowi, w mojej opinii podstawę do ubiegania się mgra inż. Marcina Jakubaszka o stopień doktora nauk technicznych w Dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika.

Wnoszę do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie o dopuszczenie mgra inż. Marcina Jakubaszka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Z wyrazami szacunku



Gliwice, 2021.09.05